

## Влияние механических напряжений на кристаллическую структуру и свойства PZT пленок

Л.А. Делимова<sup>1</sup>, Н.В. Зайцева<sup>1</sup>, В.В. Ратников<sup>1</sup>, В.С. Юферев<sup>1</sup>, Д.С. Серегин<sup>2</sup>,  
К.А. Воротилов<sup>2</sup>, А.С. Сигов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, 194021 Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: ladel@mail.ioffe.ru

<sup>2</sup>МИРЭА - Российский Технологический Университет, 119454 Москва, Россия

Технологии упругих деформаций (strain engineering) направлены на использование напряжений растяжения, сжатия и сдвига для управления физическими и химическими свойствами материалов. Деформационная инженерия активно применяется в технологиях микро- и нанoeлектроники, в частности, технология напряженного кремния используется для повышения подвижности носителей заряда в канале МОП-транзистора [1]. Деформация в тонких пленках обычно связана с рассогласованием параметров кристаллической решетки пленки и подложки и может возникать как в процессе роста пленки, так и в процессах термического отжига при несоответствии коэффициентов теплового расширения, наличии фазовых переходов и пр.

В данной работе изучено влияние механических напряжений на кристаллическую структуру и свойства пленок  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.48}\text{Ti}_{0.52})\text{O}_3$ , сформированных на подложках из кремния  $\text{Si}(690 \text{ нм})/\text{SiO}_2(300 \text{ нм})/\text{TiO}_2(10 \text{ нм})/\text{Pt}(150 \text{ нм})$  и сапфира (Si-on-Sapphire, SOS)  $\text{Al}_2\text{O}_3(510 \text{ нм})/\text{Si}(600 \text{ нм})/\text{SiO}_2(300 \text{ нм})/\text{TiO}_2(10 \text{ нм})/\text{Pt}(150 \text{ нм})$ . Для обоих типов пленок исследованы кристаллическая структура XRD методом, петли сегнетоэлектрического гистерезиса и их асимметрия, поляризационные зависимости переходного тока, фотовольтаического тока и фото-ЭДС холостого хода, а также изгиб подложек. Сделаны оценки деформаций и механических напряжений внутри пленок [2].

Показано, что пленки PZT на SOS текстурированы в единственном направлении (111) и демонстрируют симметричные петли гистерезиса с высоким значением остаточной поляризации. Пленки PZT на Si текстурированы в основном (111) и более слабом (100) направлениях, имеют меньшие значения поляризации и демонстрируют асимметрию петель гистерезиса, что проявляется в наличии положительной неперекрываемой поляризации, а также отражается на величине переходного тока и фототока.

Обнаружено, что сапфировая подложка имеет выпуклый изгиб, вызывающий в плоскости пленки напряжение сжатия, которое компенсируется растягивающим влиянием рассогласования параметров решеток PZT и Pt настолько, что слой Pt на SOS сформирован практически ненапряженным. В результате сапфировая подложка обеспечивает лучшее качество PZT пленки.

Напротив, подложка Si имеет вогнутый изгиб, вызывающий растяжение в плоскости пленки и сжатие вдоль нормали (111). Данные XRD-измерений также свидетельствуют о растяжении PZT пленки в ее плоскости {110} и сжатии вдоль оси (001). Оценки деформаций, пересчитанные в систему координат подложки, и найденный градиент деформации сжатия, действующий поперек пленки вдоль оси (111) позволили связать асимметрию петель гистерезиса с флексоэлектрической поляризацией и найти величину флексоэлектрического коэффициента  $\mu_{11}$  для золь-гель пленок PZT, равную  $0.0154 \text{ мС/см}$ , что хорошо согласуется с флексоэлектрическим коэффициентом для PZT керамики [3].

Авторы Делимова, Зайцева и Юферев благодарят за поддержку РФФИ, проект № 19-02-00148, Серегин, Воротилов, и Сигов благодарят РФФИ, проект № 19-29-03058.

1. J. Li, Z. Shan, E. Ma, *Materials China* 37, **941** (2018).
2. Л.А. Делимова, Н.В. Зайцева, В.В. Ратников, В.С. Юферев, Д.С. Серегин, К.А. Воротилов, А.С. Сигов, *ФТТ*, **63**, 1076 (2021).
3. W. Ma, L.E. Gross, *Appl. Phys. Lett.* **86**, 072905 (2005).